

CO₂の再資源化

解説

佐野 寛*

CO₂ Recycling for a Carbon Resource

Hirosi SANO

1. どんな CO₂ 対策があるか

— 四つの選択肢とその行詰まり —

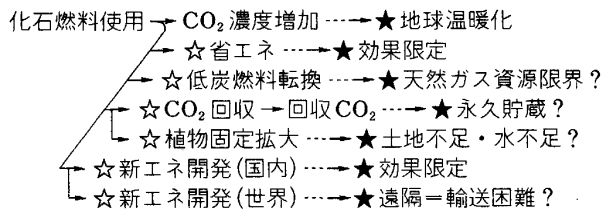
炭素を多量に含有する化石燃料を燃焼・使用すれば、必ず化学当量 CO₂ を発生するのを避けることはできない。

化石燃料を大規模に使えばその結果、CO₂ の温室効果が出現するのも必然的帰結である。

CO₂ 発生抑制として現在、考慮（一部実施）されている対策は、大別して4種類ある。すなわち、

- ①省エネルギー、②省炭燃料転換（≡天然ガス転換）、③CO₂ 回収、④新エネ開発である。

これらは、下の分類に示すように、それぞれ特徴的な長所と、同時に弱点（★）とを持っている。



1.1 省エネルギー

省エネルギーは当然推進されねばならないが、技術的飽和の限界がすでに見えている。例えば、日本における火力発電効率は、1965年に平均38%を達成してより20年来、1%の向上も達成できない。

予想される成長率¹⁾が2.7~3.8% (OECD~途上国)であることを考慮すると、毎年3%ずつという強力な省エネ政策を進めることができたとしても、CO₂ 排出水準を辛うじて現状に静止するに過ぎない (参考: 1975~1985年の期間中の、世界の省エネ率実績は0.7%/年)。

一方 IPCC など国際議論の場において、温暖化防止

のための21世紀中頃のCO₂削減要求は50%~70%とも予想され、いかに強力な省エネでも到底及びつかない。

1.2 低炭燃料転換

具体的には C/cal の少ない化石燃料は天然ガス (組成 CH₄) のみである (参考: 石油組成は (CH₂)_n, 石炭組成は (CH_{2/3})_n)。

しかしその弱点は次の2点である。

- ①省炭効果が小さい、
②天然ガス資源限界 (寿命 60 年)

さらにクリーン燃料の前倒し消費は、子孫の困窮を招くという厳しい批判に正面から答え難い。どのみち、21世紀中期以降、大量の天然ガス資源を当てにはできない。

1.3 CO₂ 回収

大規模化石燃料燃焼における工業的なCO₂回収は、技術的には達成できる見通しがある。問題は回収エネルギー消費、回収CO₂の行先である。

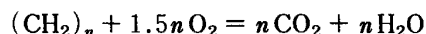
1.3.1 回収エネルギー消費

現在の PSA や膜分離法の動力消費は 0.4 kWh/Nm³-CO₂ 付近であり、火力発電量の約4%ダウンに相当する。将来的には半減は可能であろう。

1.3.2 回収CO₂の行先

(1) 工業的回収

回収CO₂ガス状で巨大な体積を占めるので、そのままの備蓄・保存は全く不可能である。圧縮液化しても、その量は膨大である。例えば、石油消費量に対しての約3倍量 (次式) のCO₂が発生し、毎年累積するのであるから、その貯蔵・処理は容易でない。



14 g

44 g

排煙脱硫の時の副産石膏のように、炭酸石灰として固定することは、巨大量過ぎるだけでなく、論理的に矛盾を来たす (中和原料の石灰石は、炭酸石灰である)。

(2) 海洋投棄

当初、500 m 級の浅海に液体炭酸として圧入・投棄が

平成4年1月13日受付 平成4年4月10日受理 (Received on Jan. 13, 1992; Accepted on Apr. 10, 1992) (依頼解説)

* 大阪ガス(株)開発研究所技術顧問 工博 (Research & Development Center, Osaka Gas Co., Ltd., 6-19 Torishima Konohana-ku Osaka 554)

Key words: CO₂; recycling; carbon resource; saving energy; CO₂ recovery; new energy; energy transportation; alternative fossil fuel.

提案されたが、500 m 深さの圧力 (= 50 気圧) での液体炭酸の密度は 0.9 g/cm^3 で、海水の密度 1.05 g/cm^3 より軽いからたちまち再浮上して環境へ放出される。途中、溶解拡散しても、浅海ではすぐに空気と接触、平衡化する。

液体 CO_2 の比重が、海水より重くなる圧力は 500 m 以深で、初めて CO_2 液滴は、海底へ向けて沈降する。

深海投棄 (あるいは貯蔵) 処理は、1991 年秋の IEA 京都会議では大きな話題となった。日本海溝などを当て込んだと見られる投入 CO_2 の再放出シミュレーションで、ある深度から急に CO_2 の滞在時間が長くなる (上述の理由から期待される通り) という結果が発表されて、マスコミから注目を集めた。

ただし、大規模貯蔵に適する深海溝で、数百年間、
 ・熱水噴出の恐れがなく、
 ・地震の恐れがなく、
 ・その生物相も無視できるほど貧困である、
 という条件を満たす地形が地球上にどれほど有るかは、今後の課題である。

一般的には、多くの深海溝が二つの巨大地塊の衝突とその一方の他方への潜り込みによって生成し、地震の巣を伴うものなので懸念される。

いずれにせよ、中深層水の大循環は数千年スケールでは完全混合であり、大気～海洋間の CO_2 分配平衡は変えられないから、この方法による大気 CO_2 濃度抑制は一時的なもので、本格的な対策立ち上げまでのつなぎと見なすべきであろう。

(3) 緑化 CO_2 固定

古典的な植物固定の拡大は、緑化の好イメージがあり地域環境改善に直接貢献できるので、しばしば高く評価される。しかし地球規模・化石燃料全面的代替用としては、いかがなものであろうか。

太陽エネルギー転換率が光合成水準で 1/10 のレベル、さらに含水・分散性のため収穫できるバイオマス収率としてはその 1/10～5/100 の水準となる。この現状では、地球規模で化石燃料の全面的代替に緑化を普及させる場合、簡単な計算でも、 CO_2 植物固定必要面積があまりにも巨大化し陸地面積 $1.5 \times 10^8 \text{ km}^2$ に迫る 10^8 km^2 を要求し、「地球が足りなくなってしまう」。他にも、水供給・肥料供給・収穫技術・燃料化技術などにもそれぞれエネルギー収支的課題がある。

1.4 新エネルギー

国内の新エネルギー源はわが国では乏しく、開発は当然推進すべきであるが、省エネと同程度の効果しか期待できそうもない。化石燃料の大規模代替はもちろん望むべくもない。

一方、全地球では話が全く異なり、砂漠の太陽という巨大資源がある。

陸地の 1/4 は砂漠～半砂漠であり、その太陽入射エ

ネルギーは 1990 年現在の化石燃料消費水準 (10 TW) の数百倍という理論値がある。太陽熱発電 (商業実績効率最高 17%)、太陽電池 (商業実績効率率 10%) によれば砂漠の数% 利用でも化石代替[†]には十分、という計算になる。

現に、砂漠に近接した都市 (例: ロスアンジェルス) では、課税減免措置などのインセンティブはあったにせよ 100 km 隣接区域の砂漠における太陽発電・風力発電によって、この地域の化石燃料消費の数割を代替する見通しが得られている。

豊富な海外新エネに関する最大の問題点は、全地球的にみると資源地～需要地が遠隔であり、輸送困難という点である。特に日本では、主要な砂漠まで平均 1 万 km もあり、「エネルギー輸送」は OECD 諸国の中で日本においてもっとも深刻な課題となる。

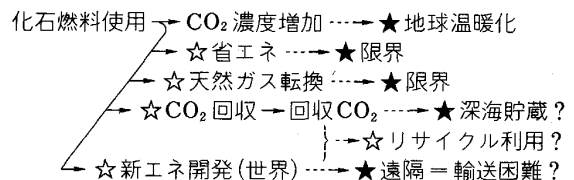
1.5 選択肢行詰まりの打開

以上、 CO_2 対策の四選択肢とその行詰まりについて述べたが、物質資源の利用については、特別な視点を付け加える必要がある。

それは、大規模な資源利用では早晚、リサイクルが不可欠になるということである。炭素資源 = 化石燃料も、例外ではない。石油・天然ガス寿命 60 年 (価格急騰が予期される「資源半減期」でいえば約 30 年) を考慮すれば、そんなに遠い将来ではない。

しかし、 CO_2 のリサイクル利用には、 CO_2 が無エネルギー物質であるために、全面的なエネルギー注入が必要になるという重大課題がある。すなわち、豊富な新エネルギーの補助なしには CO_2 リサイクルは成立しない。

ここで、前掲の CO_2 対策の流れを見直すと、選択肢 ③ CO_2 回収、と ④ 新エネルギー開発との中間に、「 CO_2 のリサイクル利用」という選択肢を設定するという新しい戦略³⁾が浮かび上がってくる。



2. CO_2 のリサイクル利用

— CO_2 リサイクルへの必要条件 —

2.1 リサイクル用の新エネルギー

新エネルギーと呼ばれるものには、

† 現段階では太陽電池発電は石油火力に比べて遙かに高価である。すなわち発電コスト (¥/kW) で 71:11, 投資コスト (¥/kW) で 100万:20万の比である。しかし、太陽電池は安価・高効率化の一途をたどっているのに対して、石油は資源半減期 (2020～2025年) 頃から急騰し、市場競争性を失う時期がくる。

1) 太陽直接利用 (太陽電池, 太陽熱発電, 太陽温熱利用)

2) 太陽間接利用 (風力, 水力, 波力, 海流, 海洋温度差, 古典バイオマス = 木・農産廃棄物, 新バイオマス = 藻類)

3) 非太陽 (地熱, 潮汐など)

などが挙げられる。

太陽の地球入射量は 173 000 TW で, 反射や吸収などを除いてもその 6 割 (約 100 000 TW. 化石燃料需要のちょうど 1 万倍) は地表に到達する。しかし現在は大部分が空しく温熱に変わっている。

2.1.1 太陽間接利用

太陽間接利用のものは, 潜在資源量として相当大きなものはあるが, 変換損失・分散性・環境加害性などのため, 獲得・利用型変換できる資源量は僅かで, 化石燃料代替規模 (10 TW) となると, そのほとんどが失格^{2a)}である。

2.1.2 太陽直接利用

太陽直接利用はこれを直接, 有効エネルギー (多くのケースでは電力) に変換するもので, もとの資源量に問題はない。この中で温熱利用, 例えば太陽熱温水器は, 需要地密着に限られるので, 今課題とする砂漠型巨大エネルギー回収利用とは無縁である。

(1) 太陽熱発電

太陽熱発電は火力発電と同原理で, 反射鏡による集光効率約 55% をかけても電力転換効率 17% ていどの最高値が得られ, 極砂漠において最も好適な技術である。いくらか水や人手を要する。

(2) 太陽電池

太陽電池の現在の効率は 10% 級 (21 世紀中頃なら 15% ?) であるが, 無保守・無人運転が可能である。しかも, 反射鏡で拾うことができない分散光や曇天光も拾えるので, 対象候補となる地域は砂漠・半砂漠など極めて広がる。未来太陽基地イメージとして, 太陽電池が当て込まれるゆえんである。

(3) 砂漠エネルギー輸送

先にものべたように, 豊富な砂漠太陽エネに関する最大課題は, 全地球的に需要地の遠隔にある点である。電力は千 km 輸送が商業的限界なので, 平均 1 万 km 離れた電源は今日の常識としては電源の価値がない。

そこで, 化学物質エネルギーとして大量・長距離輸送することが次の突破口として考えられる。エネルギーの乗り物候補は, まず, 水 (→水素) か, 炭酸ガス (→代替化石燃料) である。

2.2 物質資源としての CO₂ の回収

エネルギー輸送担体として CO₂ にニーズが出てくると, 大量の CO₂ 回収が必要になる。

2.2.1 CO₂ 源

CO₂ 源は, 大規模な燃焼排煙, 具体的には火力発電

や製鉄などの発生源が第 1 候補と目される。次は一般産業燃焼であり, 民生用・運輸用の化石燃料燃焼は最も回収困難なので後回しになる。

リサイクル用に回収された CO₂ は, CO₂ 排出枠から離脱するので, 炭素排出税対象から除外され, あるいは CO₂ 利用インセンティブを受けることが可能になる (現在はそのような誘導政策がないので, まだ CO₂ 回収が商業的に成立する基盤はない)。

2.2.2 リサイクル立地

回収 CO₂ は, 需要地においては (新エネルギー不在なので) リサイクル燃料化する意味が乏しい。そこで, 砂漠太陽資源地まで, 回収 CO₂ を輸送する新課題が登場する。

(需要地) 排煙 → 回収 CO₂ → … (CO₂ タンカー)

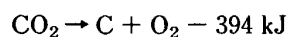
… → (砂漠沿岸) → 代替化石燃料合成

CO₂ タンカーはこのリサイクルシステムにおける特徴的な技術課題である。巨大規模・長距離輸送を前提とした CO₂ タンカーは未踏技術であり, 各種のアイデアが出始めた段階^{2b)}である。

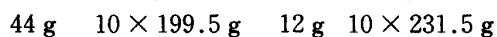
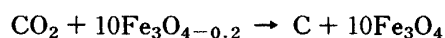
2.2.3 排煙脱炭酸以外の諸法

(1) 炭化法

CO₂ 回収において, 直接炭素資源化する試みも多数ある。排煙中の CO₂ を C (炭素) に還元して脱炭酸できれば魅力的である。しかしその反応は燃焼の逆反応であって



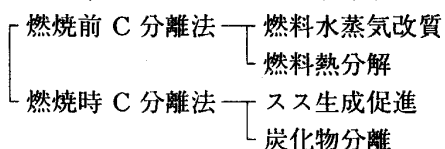
大きな吸熱を伴い, 極高温か, 炭素より強い還元剤を与えるか (つまり外部からエネルギー供給) が必要である。最もよい実例として, 酸素欠陥マグネタイト (Fe₃O_{4-δ}, δ=0.18~0.2) が 300°C 程度の中低温で CO₂ を C に還元し除去することが発見された⁴⁾。その反応の物質収支は次のようである。



この固定化剤を循環使用するためには, 400°C 水蒸気で C を [CO₂ と 2H₂] としてガス化除去した後, 外部から水素を供給して Fe₃O_{4-0.2} を再生する。この再生に際して, 欠損酸素と当量の水素を要求し, 吸収した CO₂ と同量の CO₂ を放出するので, 合計としては, CO₂ の炭化固定というよりも CO₂ 濃縮固定法になる。

現実的には, 固定化剤であるマグネタイトの所要量が莫大 (石油燃料の約 140 倍重量) であるため, 難しい。

その他, 排煙を経由しない回収法⁵⁾としては,



などがある。

(2) 燃料水蒸気改質による CO₂ 分離法

燃料電池などに供給する燃料は、改質により水素へ転換した後、利用している。原料中の炭素分は「副生 CO₂」として分離できる。将来、排煙からの CO₂ 回収が難航すれば充分競合できると予想される。

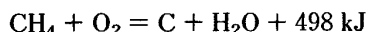
(3) 燃料熱分解 C 分離法 (コークス化)

石炭乾留や重質油コーカーは、原料中の C 分離法として最も直接的であり有効な方法といえる。分離した炭素は、CO₂ ガスと異なり、固体なので貯蔵・保存は容易である。

しかし、石炭保有エネルギーの約7割がコークスへ移り、燃料ガスとして回収できるのは約25%に過ぎない。さらに、乾留プロセスの所要エネルギーは6~10% (理論値は約3%だが)なので差引き、石炭の原エネルギーの1/5くらいしか使えない。石炭生産を5倍増加してエネルギー需要対応することは難事であろう。

(4) スス生成促進法 (不完全燃焼)

炭素固定燃焼法として提唱されている⁶⁾。実施には、燃料過剰燃焼 (空気比≒0.5)・炎熱輻射逆送、などにより自己熱で熱分解を促進し多量のススを取得。技術的には、生燃料分がのこり、有害 CO が副生する課題がある。最大の課題は燃焼熱損である。天然ガスの理論式は



CH₄ の完全燃焼熱は 891 kJ/mol であるから、約44%のエネルギー放棄に相当する。天然ガスよりも高炭燃料である石油、石炭に適用すると、放棄率は61%、80%とさらに高くなる。

(5) 炭化物分離燃焼法

炭化物を生成しつつ燃焼する (オキ火燃焼) のは石炭・バイオマス・ゴミの燃焼途中で一般的な現象である。技術的に途中で取り出し消火して炭を保存することは容易である。しかし、炭化物取出し率を高めた分だけ、熱利用率は減少する。

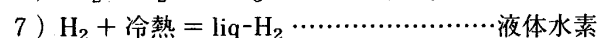
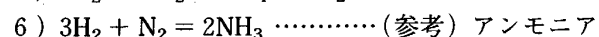
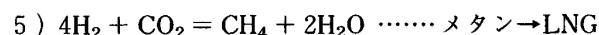
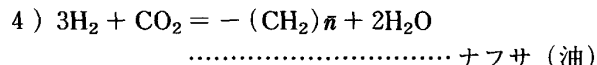
C 分離型の (1), (3), (4), (5) 法はいずれも技術的に完成するほど正確に C 分相当のエネルギーは失われるわけで、エネルギー需要対応上の問題に直面せざるを得ない。

2.3 代替化石エネルギー輸送形は?

各種の新エネルギーから導かれた水素と、CO₂ とを原料として代替化石燃料を合成する場合、合成有機物のターゲットを何にするか定めなければならない。戦略上、重視すべき事項は、次のようである。

- ① CO₂ 分子当たりのエネルギー担持量が大きいこと
 - ② 合成が容易なこと
 - ③ 合成反応熱が小さいこと (反応熱損が小)
 - ④ 合成品が液体または液化容易 (輸送性改善のため)
- 合成反応候補^{2c)3)}を次に列挙する。

- 1) $\text{H}_2 + \text{CO}_2 = \text{HCOOH}$ ……ギ酸塩 (溶液)
- 2) $2\text{H}_2 + \text{CO}_2 = \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$ ……炭素
- 3) $3\text{H}_2 + \text{CO}_2 = \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ ……メタノール



いずれの反応においても、原料水素エネルギーの保存率は10~15%の範囲で差はない (相対的にメタノールがいくらか有利)。個別に評価してみると、

1) 最も容易な反応であるが、CO₂ 分子当たりのエネルギー担持量が最も少ない。

2) 炭素有利反応の選択率は悪い。大部分が CO になるという最悪ケース。

3) 4) メタノール、油合成までは一連の反応であるが、油の体積は半分になるので単独輸送ならば最も有利 (CO₂ 返送船の容積より縮めても利益はない)。

5) CO₂ 分子当たりの担持エネルギーは最高である。輸送には LNG 化と、冷凍タンカーを要する。

6) アンモニア合成には CO₂ なしでも立ち上げ可能である (逆にいえば、CO₂ 回収支援システムには貢献できない)。冷凍タンカー必要。有毒、ユーザの拒否反応。

7) H₂ の液化には多量の冷熱を要し、原料エネルギーの1/3ほどを消費する。liq-H₂ タンカーは LNG タンカーに比べて容積負荷・危険負担も著しく大きい。

化石燃料代替性を総合評価すると、3) 4) 5) あたりが有力候補となろう。

3. 他のエネルギー輸送形

— エネルギー資源地への移転は —

3.1 エネルギー含有素材の利用可能性

エネルギー含有素材生産を、需要地で行う代わりに、エネルギー産地で製造して輸送すれば、エネルギー輸入削減できる。あるいは進んでエネルギー輸送媒体として利用できる可能性もある。特に金属類は、電池型の直接電力取出しが理論的に可能 (燃焼よりも高効率期待) なので有力⁷⁾である。

表1⁸⁾に、各種元素の担持エネルギーとその輸送性を示した。

基礎となる分子発熱量は、生成自由エネルギー ΔG や燃焼熱相当の ΔH などで表される。ここではデータの得易い ΔH を示した。輸入金属を電池電源として使うには ΔG の方がよく、ΔH のほぼ10~15% 引きいていどになる。

長距離・巨大輸送性は、タンカー輸送を想定すると、第一にその物質のエネルギー密度に支配される。

その表示には重量密度 kcal/kg と、容量密度 kcal/l と⁸⁾が利用される。いずれが支配するかは、その物質の比重が水より重いか軽いによる。

すなわち、水素の様な軽い物質では、船体の容量を決めるのは積荷の容積による (水素の高い重量密度

表1 各種元素の担持エネルギーと輸送因子⁸⁾

物質名	モル発熱量 kcal/mol	エネルギー密度/重量 kcal/kg	エネルギー密度/容量 kcal/l	分子量	密度 g/ml
H ₂	58	(29 000)	2.6	2	9×10 ⁻⁵
Liq-H ₂	58	(29 000)	2 010	2	0.07
Li	110	(15 850)	8 460	6.94	0.534
C	94	7 830	(13 300)	12	1.7
Na	96	(4 170)	4 050	23	0.97
Mg	144	5 920	(10 300)	24.3	1.74
Al	200	7 400	(20 000)	27	2.7
Si	209	7 440	(17 500)	28.1	2.35
Ca	152	3 800	(5 900)	40.1	1.55
Fe→2.6 価	89	1 590	(12 500)	55.8	7.87
Fe→3 価	98	1 750	(13 700)	55.8	7.87
Zn	84	1 280	(9 100)	65.4	7.13
cf. 石油	—	(10 000)	9 000	—	—

29 000 kcal/kg のメリットは活かされない)。

逆に、水より重い物質では、船の浮力維持のために、重量相応の空隙が必要になり、積荷の実容積に無関係に重量が支配する。すなわち、重量・容量いずれか不利な要因の方だけが支配する^{2b)}。

表1では、支配要因とならない方のエネルギー密度は括弧内に示した。これにより、石油(表の末尾)がいかにか優れた輸送燃料であるか、これを越える輸送媒体を得ることが以下に難しいか、定量的に理解できる。

今、石油タンカーの2倍増加までを商業的輸送限界と仮定すれば、容量ネックによる素材の中では金属リチウム(Li)だけが合格である。液体水素は、約5倍増(断熱壁空隙も含めれば6倍増?)と負担が激増する。

重量ネック型の素材の中では、炭素、マグネシウム、アルミニウム、シリコン(C, Mg, Al, Si)が合格線上に現れる。

もちろん、現実には理論輸送性以外の制約要因が大きくこれだけで成立の可否がきまるわけではない。リチウムは資源的制約のために地球規模化石燃料代替候補には無理であるし、アルミニウム、シリコンは資源は豊富だが精錬に際して理論エネルギーをはるかに上回る消費をしているので、エネルギー材料として成立するのは困難である。

現在、シリコンはもちろん、鉄やアルミニウムも燃料用(あるいは発電用)としてよりもずっと高い材料評価が得られているので、輸送が可能である。付加的に、エネルギー輸送の部分代替機能もある、と理解するべきであろう。

3.2 エネルギー資源地への移転

エネルギー多消費産業自身の、エネルギー産地転出も広義のエネルギー輸入の一形態といえる。既にアルミニウムはその道をたどったし、他の巨大生産型の金属産業も早晚、その可能性が出てくる。

製鉄の場合、炭素をエネルギーとしてだけでなく還元剤として使っている点で特別な課題をかかえている。新エネルギー産地へ移転するには、電力のみを使うカーボンス製鉄技術を開発しておくことが前提になる。それ

がポスト石油時代、あるいはCO₂高抑制時代に生き抜くためのニーズになる。

民生用エネルギーは従来、産業用に比べて少なく、無視できた。しかし、近時、急激な伸びをみせており、このままでゆけば民生用エネルギーもまた、新エネルギー産地への転出を要請されるに到るであろう(砂漠などは生活上の不適度が高いが)。

砂漠太陽電力をCO₂リサイクルシステムにのせて1万km離れた需要地へ運ぶ際、エネルギー到達率^{2d)}として、1/2~1/3、電力再転換で1/4以下に減少するだろうと予測されるので、砂漠移住も有力な選択肢となる日がくることも念頭におく方がよからう。

4. ま と め

CO₂対策の第1ステージは省エネである。しかし日本では限界に近いし、世界的にも、半減以上を求められるCO₂高抑制時代には対応する技術ではない。

CO₂対策の第2ステージは、回収→廃棄であろう。ただし、最も有望な超深海投棄(または貯留)も、安全性・安定性を求めると適地は限られる。さらに、化石燃料の斜陽化(石油については2025年頃?)も考慮すると、CO₂が炭素資源として見直されるまでのつなぎと考えたい。

CO₂対策の第3ステージは、回収→リサイクル(エネルギー輸送媒体として)。これには、大規模新エネルギー開発が、化石燃料資源斜陽化時期に間に合ってくる必要がある。

アルミニウムや鉄は、エネルギー輸送媒体としては充分優れているとはいえないが、地球規模新エネルギー産地への移転は長期的には必至である。

エネルギー多消費型に変身しつつある民生エネルギーもまた、かなりの部分が新エネルギー産地への転出を要請されるに到るであろう。その要請の強さは、CO₂リサイクルシステム等を稼働させた時における需要地へのエネルギー到達率改善の度合いにかかっている。

文 献

- 1) 山田興一: 化学工学, **56** (1992) 1, p. 62
- 2) 新エネルギー・産業技術開発機構, 地球環境産業技術研究機構およびエネルギー・資源学会: NEDO-ITE-9002-5 (1991); 2a) 同上, p. 2, 2b) 同上, p. 141, 2c) 同上, p. 96, 2d) 同上, p. 149
- 3) 佐野 寛: エネルギー・資源, **11** (1990) 2, p. 5
- 4) 玉浦 裕: Nature, **346** (1990), p. 255
- 5) 佐野 寛: 燃料及び燃焼, **58** (1991) 12, p. 885
- 6) 越後亮三, 吉田英生, 花村克悟, 奥山正明, 小金沢知己, 土方邦夫: エネルギー・資源, **11** (1990) 4, p. 358
- 7) 植田 稔, 福田健三: サンシャインジャーナル, **11** (1990) 1, p. 7
- 8) 佐野 寛, 本庄孝子, 相馬芳枝: 大工試季報, **42** (1991) 1, p. 16